УДК 621.91.02: 621.793

М.ВЕЧОРОВСКИ, А.МАТУШАК-ШАРАНЕЦ,
К.ВЕЧОРОВСКИ, Т.КЕНДЗЕРСКИ (Польша)

ИЗНОС РЕЖУЩИХ КРОМОК ПАЛЬЦЕВЫХ ФРЕЗ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ШПОНОЧНЫХ ПАЗОВ

Представлены результаты исследований износа режущих кромок твердосплавных шпоночных фрез с износостойкими покрытиями при фрезеровании шпоночных пазов. Фрезеровали закрытые и открытые пазы (с выходом на торец вала). Исследования проводились на заготовках с твердостью 42-44HRC. В обоих случаях изучали характер износа торцевых и периферийных режущих кромок фрез.
В статье представлены кривые износа режущих кромок из твердого сплава с износостойкими покрытиями TiN, $TiAlN$ и $TiAlCN$; для сравнения приведены данные по износу твердосплавной фрезы модифицированной конструкции.
Ключевые слова: *шпоночный паз, пальцевая фреза, износ режущей кромки.*

Введение. Значительная часть машин и производственных установок состоит из корпуса как элемента, соединяющего все узлы и функциональные части в одно целое. Силовыми элементами большинства машин и механизмов являются зубчатые передачи, смонтированные на валах и осях с помощью шпоночных и шлицевых соединений. Чаще всего соединение вала с зубчатым колесом осуществляется стандартным шпоночным соединением согласно польскому стандарту PN/91/859092 типа «А» с глухим пазом или типа «С» с открытым пазом (с выходом фрезы на торцевую поверхность вала. На рис.1 показаны два способа изготовления шпоночных пазов пальцевой фрезой [1,8,11]. Глухие пазы типа «А» получают на специальном фрезерном станке, работающем с возвратно-поступательным движением (рис.1,А). Фреза имеет возвратно-поступательное движение, с заглублением в заготовку в конце рабочего цикла. Глубина фрезерования зависит от формы режущей кромки на торце фрезы и составляет обычно (0,025-0,08) мм. Процесс обработки продолжается в автоматическом режиме, вплоть до достижения окончательной глубины паза h_D.

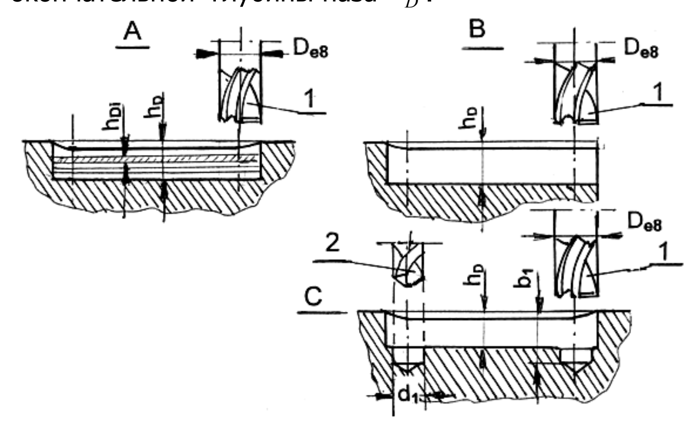


Рис.1. Способы изготовления пазов пальцевой фрезой: А – фрезерование закрытого паза методом возвратно-поступательного движения, В – фрезерование торца вала на полную глубину, С – фрезерование глухого паза после предварительно просверленных

отверстий: 1 - фреза пальцевая; 2 – сверло; h_D - глубина паза; h_{D_i} - глубина резания на одном переходе; D_{e8} -диаметр фрезы; α_1 - диаметр сверла; $в_1$ - глубина сверления

Изготовление пазов пальцевой фрезой может осуществляться и на горизонтальном станке, если паз имеет выход на торец вала (рис.1,В), при этом фреза устанавливается на полную глубину паза h_D. Из этого положения фреза перемещается до крайнего положения с подачей f_z. При изготовлении глухих пазов на концах паза иногда высверливается одно или два отверстия сверлом диаметром d_1, меньшим, чем ширина паза, и глубиной $в_1$, большей, чем глубина паза (рис.1,С). В этом случае фреза углубляется в предварительно полученное сверлом отверстие, рассверливает его и после достижения максимальной глубины паза перемещается к противоположному краю с продольной подачей f_z.

Представленные способы изготовления шпоночных пазов обусловливают различные виды износа пальцевых фрез.

Износ режущих кромок пальцевых фрез. Многочисленными исследованиями [2,3,6,13] установлено повышение стойкости режущих инструментов применением специальных износостойких покрытий, которые одновременно обеспечивают и высокую точность изготовления шпоночных пазов [4,5]. Применение этих покрытий контролировалось прибором фирмы ITA.

На рис.2 представлены результаты исследования износа твердосплавных пальцевых фрез с тремя видами износостойких покрытий, при этом были использованы статистические методы планирования эксперимента. Исследования проводились при обработке глухих шпоночных пазов на фрезерном станке модели 6293А, работающем в режиме возвратно-поступательных движений. При каждом следующем проходе фреза автоматически углублялась на величину h_{D_i} =0,025 мм.

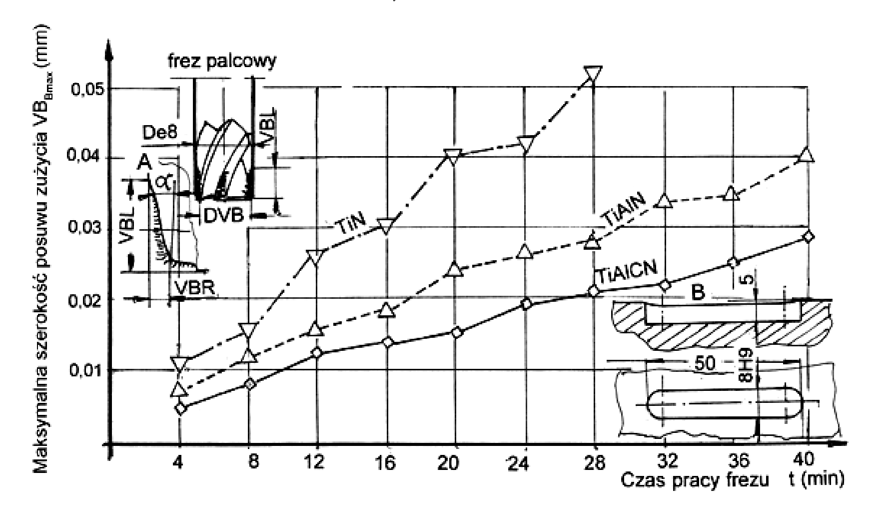


Рис.2. Максимальная ширина фаски износа фрезы с покрытиями из TiN, $TiAlNC$ и $TiAlNC$: А – форма изношенной кромки фрезы; В – форма шлицевого паза типа «А» согласно PN. Условия эксперимента: заготовка – сталь 4SHNMF (40-44 HRC); скорость

резания V_C =168 м/мин, подача f_2=0,035 мм/зуб., диаметр фрезы D_{e8} 8мм, угол наклона винтовой канавки ω=55^{0}; условия обработки – согласно рекомендациям [9,14]

Износ режущих кромок фрез протекал следующим образом:

1)сначала материал удалялся с торцевой поверхности фрезы и переходных радиусов между цилиндрической и торцевой поверхностями;

2)по мере углубления фрезы износ распространялся от торцевой поверхности вплоть до достижения полной глубины паза VBL (см.рис.2);

3)одновременно со стороны торца фрезы слой покрытия полностью удаляется, и в процессе износа принимает участие твердый сплав - основа инструмента;

4)торцевые режущие кромки фрезы изнашивается незначительно (0,6мм);

5)наибольшему разрушению подверглись режущие кромки на переходном радиусе – точка «P» (рис.3), между цилиндрической и торцевой поверхностями фрезы.

На некоторых участках режущих кромок можно было обнаружить удаление целых фрагментов материала, что напрямую связано с минимальной глубиной фрезерования h_D в точке «P» (см.рис.3) [10]. Рассматривая износ кромок на цилиндрической поверхности под углом λ (см.рис.2,A), видим, что наибольший износ по диаметру фрезы DVB наблюдается у торца, а наименьший – в области совпадающей с наружной поверхностью торца.

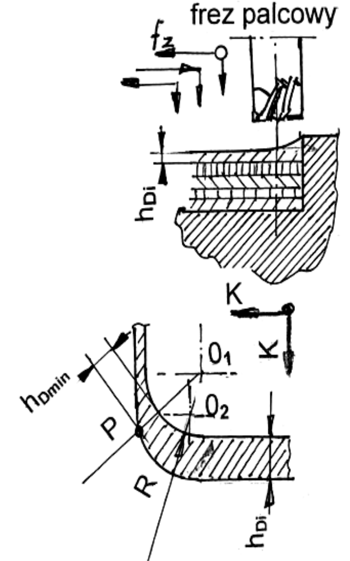


Рис.3. Поперечное сечение слоя, срезаемого режущими кромками, расположенными на переходном участке между цилиндрической и торцевой поверхностями: P – точка минимальной толщины срезаемого слоя во время углубления фрезы в торцевую поверхность; K – направление перемещения фрезы; O_1, O_2 – очередные положения центра радиуса скругления переходной кромки

Анализ полученных результатов износа фрезы показывает, что фреза изменяет свои геометрические размеры, и шпоночный паз имеет наклонные поверхности.

Кривые износа показывают, что наибольшей долговечностью обладают режущие кромки, покрытые $TiAlCN$, а наименьшей – покрытые TiN. Кроме этого пазы, изготовленные фрезами с покрытием $TiAlCN$, имели меньшие значения шероховатости Ra на боковых поверхностях. Распределение параметров шероховатости на боковых поверхностях паза приблизительно соответствует параметрам износа кромок. У основания паза шероховатость примерно на 50% больше, чем на

вершине; на вершине Ra =(0,76-0,98) мкм, у основания Ra =(1,25-1,63) мкм.

На рис.4. представлены данные по износу фрез при обработке открытых пазов с глубиной резания, равной глубине паза h_D =5мм; при этом применялись фрезы с теми же самыми покрытиями, как и при фрезеровании глухих пазов. Из сравнения кривых износа видно, что в рассматриваемом случае процесс износа более интенсивен. Практически после 24 минут фрезерования кромки изнашиваются до такой степени, что геометрические размеры изготавливаемого паза превышают допустимые размеры. Износ по всей глубине паза VBL равномерный (рис.4,А). Фреза уменьшается в диаметре DVB практически одинаково на всей длине VBL. Наибольший износ имеют фрезы с покрытием TiN, наименьший - $TiAlCN$. Разница в износе фрез с покрытиями TiN ($VB_{B\max}$ =0,054 мм) и $TiAlCN$ (VB =0,029 мм) составляет почти 50%.

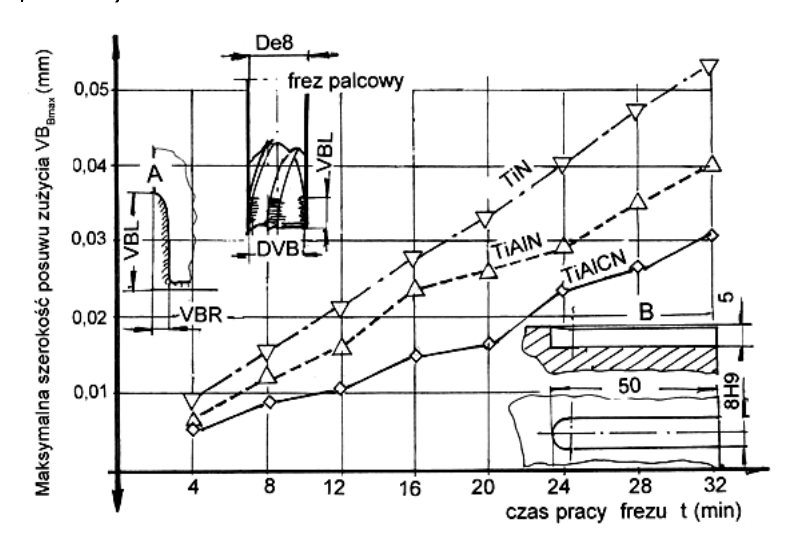


Рис.4. Максимальная ширина распространения износа при изготовлении шпоночного паза типа «С» согласно PN: А - форма изношенной кромки; В – форма шпоночного паза типа «С» согласно PN; условия эксперимента: сталь 45HNMF после закалки до 42-44 HRC; скорость резания V_C =88 м/мин; подача на зуб f_2 =0,025 мм/зуб; горизонтальный фрезерный станок, пальцевая фреза D_e=8 мм, угол наклона винтовой канавки 55^0

На рис.5 показано поперечное сечение срезаемого слоя переходной режущей кромкой; P - критическая точка, которая делит предлагаемый срезаемый слой на две части: первая уходит в стружку, а вторая пластически деформируется и располагается на дне паза.

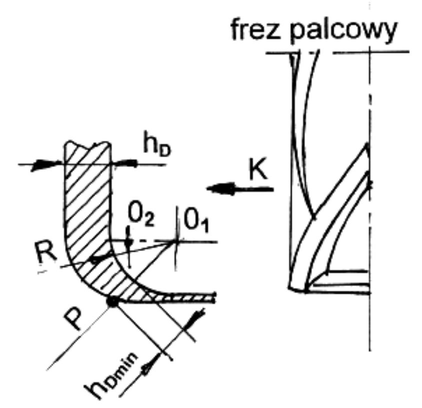


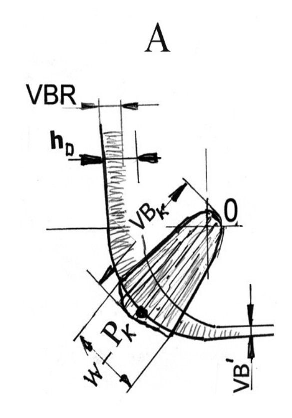
Рис.5. Поперечное сечение слоя, срезаемого режущими кромками фрезы, расположенными на переходном участке между цилиндрической и торцевой поверхностями; Р – критическая точка с наименьшей толщиной срезаемого слоя; К – направление перемещения фрезы; R – радиус переходного участка; 0_1, 0_2 – текущие положения центров радиуса переходного участка

На рис.6 представлены примеры изношенных пальцевых фрез; стрелками указаны места наибольшего разрушения кромок в переходной области между цилиндрической и торцевой поверхностями в начале переходной кромки.



Рис.6. Примеры изношенных торцевых фрез после фрезерования шпоночного паза типа «С»; условия эксперимента аналогичны приведенным на рис.4 (материал 45HNMF; твердость 42-44 HRC; V_C =88 м/мин; f_1 =0,025 мм/зуб; D_{e8} =8 мм)

На рис.7 представлена режущая кромка фрезы из переходной области. Стрелкой указано значительное разрушение в точке «Р». Практически на всех режущих кромках наблюдались большие изменения величины износа на переходном участке. Эти места соответствуют расположению критической точки на переходном участке [10].



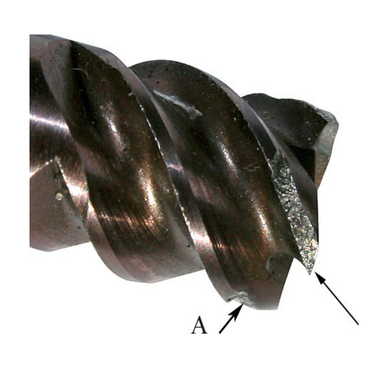


Рис.7. Износ торцевой фрезы на переходном участке – видна точка Р (см.рис.3)

Выводы. Представленные результаты исследований позволяют однозначно утверждать, что применение покрытий повышает износостойкость по сравнению с фрезами из твердого сплава.

Сравнение кривых износа на рис.2 и 4, несмотря на различные скорости резания, позволяет дать положительную оценку методу изготовления пазов возвратно поступательным движением. При фрезеровании паза при максимальной глубине, при меньших (около 50%) скоростях резания получен больший износ. Важным вопросом является критическая точка «Р», где режущая кромка выкрашивается. Эта точка присутствует в обоих методах фрезерования, однако, его месторасположение различно. Поэтому целесообразно внесение изменений в конструкцию фрезы с целью повышения износостойкости и прочности. Принимая во внимание «конусообразный» износ фрезы при работе по схеме возвратно-поступательного движения, следует изменить форму режущей кромки на цилиндрической поверхности таким образом, чтобы избежать этого явления.

Анализ результатов данных исследований позволяет предположить, что износ фрез с диаметром более 8мм будет происходит аналогично, что требует практического подтверждения; одновременно целесообразно провести изучение износа фрез и с диаметром менее 8 мм.

Авторы статьи проводили эксперименты по фрезерованию глухих и открытых шпоночных пазов пальцевыми фрезами, изготовленными из твердого сплава и с покрытиями.

Результаты экспериментов показали, что в обоих методах фрезы без покрытия изнашивались в два раза интенсивней, чем фрезы с покрытием TiN.

Библиографический список

1. *Kiepuszewski Br. Technologia budowy maszyn*, PWT. – Warszawa, 1960.

2. *Kolev N.S. Wieczorowski K. Legutko St. Tomkowiak P. Kędzierski T.* Badania trwałości i zużycia płytek z węglików spiekanych pokrywanych techniką PVD, ZN. Politechniki Poznańskiej. Mechanika, Nr 48.

3. *Kupczyk M.* Influence of coatings thickness upon tool life and wear, 3^{th} Int. Conf. on Plasma Surface Engineering, Garmisch-Partenkirchen.

4. *Kupczyk M.* Application of multiphase coatings on tools, Wyd.Techna Florence, 1994.

5. *Kupczyk M., Wieczorowski K.* Tribological properties of compound layers obtained by PVD method Euro Metal Working' 94 Univ. of Udine, 1994.

6. *Kupczyk M., Wieczorowski K.* Tool life of cutting tool edges coated with mononitrides and composite coatings, Postępy technologii maszyn i urządzeń, ZN PAN Nr3. – Warszawa, 1999.

7. *Pająk E., Wieczorowski K.* Podstawy optymalizacji operacji technologicznych w przykładach, PWN Warszawa – Poznań, 1982.

8. Poradnik Inżyniera. Obróbka skrawaniem T III, WNT, 1994.

9. *Przybylski L.* Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami, Wyd. Politechniki Krakowskiej. – Kraków, 2000.

10. *Storch B.* Zjawiska przykrawędziowe i monitorowanie chropowatości powierzchni po obróbce jednoostrzowej, Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2006.

11. *Tymowski J.* Technologia budowy maszyn, WNT, 1989.

12. *Wieczorowski K., Kupczyk M., Wieczorowski M.* Measurement of coating adhesion to cutting edges by the scratch method, ZN Państw. Univ. W Charkowie. – Charków, 1999.

13. *Wieczorowski K., Legutko St.* Technika cienkich warstw w zastosowaniu do narzędzi skrawających, Cz. Mechanik r 8-9. – Warszawa, 1993.

14. *Żebrowski H.* Techniki wytwarzania. Obróbka skrawaniem, ścierna, erozyjna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – Wrocław, 2004.

Материал поступил в редакцию 22.02.08.

M.WIECZOROWSKI, A.MATUSIAK-SZARANIEC, K.WIECZOROWSKI, T.KĘDZIERSKI

INVESTIGATIONS ON WEAR OF THE MILING CUTTERS EDGES FOR SPLINEWAY

In the paper, the results of investigations on the milling cutters edges for splineway with and without hard surface layers. The wear examinations were divided into two groups: a) milling of the closed splineway and b) milling of the splineway opened on one side. The investigations were performed with material hardened up to 40-44 HRC. In both cases, the characteristics of the wear on the edges and the front of the milling cutter. In the paper, the graphs of the wear of milling cutters blades made out of sintered carbids covered with TiN and TiAlCN, as well as without coating are presented.

DR INŻ. MICHAŁ WIECZOROWSKI - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.

MGR INŻ. ANNA MATUSIAK-SZARANIEC - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.

PROF. DR INŻ. DR H.C. KAZIMIERZ WIECZOROWSKI - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.

MGR INŻ. TOMASZ KĘDZIERSKI - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań.